

УДК 620.179.16

К. Л. НОЗДРАЧОВА**ЄМНІСНІ СПОСОБИ ЗБУДЖЕННЯ ІМПУЛЬСІВ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ
В ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ ВИРОБАХ ПІД КУТОМ ДО ПОВЕРХНІ**

Розглянуті способи збудження ультразвукових об'ємних хвиль під кутом до поверхні електропровідного виробу і схеми їх практичної реалізації. Вони реалізуються за рахунок того, що на основі відомого способу безконтактного ємнісного збудження імпульсів ультразвукових об'ємних хвиль в поверхневому шарі металовиробу формують імпульсне високочастотне електричне поле заданої частоти і дію на той же поверхневий шар виробу постійним поляризуючим електричним полем. Постійне поляризуюче і високочастотне електричні поля формуються у поверхневому шарі виробу групою паралельних електродів розташованих з однаковою відстанню один відносно одного і на однаковій відстані від поверхні виробу. При цьому на кожний сусідній електрод подається постійне поляризуюче електричне поле протилежної полярності, а високочастотне електричне поле подається на всі електроди з однаковою фазою. За рахунок складання з однаковою фазою амплітуд поверхневих ультразвукових імпульсів, збуджених в локальних ділянках поверхні металовиробу, підвищується ефективність збудження високочастотних ультразвукових імпульсів під заданим кутом до поверхні виробу. Розроблені способи відносяться до техніки контролю якості матеріалів, виробів, обладнання тощо, більш конкретно, до техніки виявлення дефектів зварних швів ультразвуковими об'ємними хвилями з використанням ємнісного методу збудження ультразвукових імпульсів.

Ключові слова: ультразвуковий контроль, безконтактний перетворювач, ємнісний перетворювач, електричне поле, імпульси, вимірювання, діагностика, об'ємні хвилі.

Е. Л. НОЗДРАЧЕВА**ЕМКОСТНЫЕ СПОСОБЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН
В ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ИЗДЕЛИЯ ПОД УГЛОМ К ПОВЕРХНОСТИ**

Рассмотрены способы возбуждения ультразвуковых объемных волн под углом к поверхности электропроводящего изделия и схемы их практической реализации. Они реализуются за счет того, что на основе известного способа бесконтактного емкостного возбуждения импульсов ультразвуковых объемных волн в поверхностном слое металлоизделия формируют импульсное высокочастотное электрическое поле заданной частоты и действие на тот же поверхностный слой изделия постоянным поляризующим электрическим полем. Постоянное поляризующее и высокочастотное электрические поля формируются в поверхностном слое изделия группой параллельных электродов, расположенных с одинаковым расстоянием друг друга и на одинаковом расстоянии от поверхности изделия. При этом на каждый соседний электрод подается постоянное поляризующее электрическое поле противоположной полярности, а высокочастотное электрическое поле подается на все электроды с одинаковой фазой. За счет складывания с одинаковой фазой амплитуд поверхностных ультразвуковых импульсов, возбужденных в локальных участках поверхности металлоизделия, повышается эффективность возбуждения высокочастотных ультразвуковых импульсов под заданным углом к поверхности изделия. Разработанные способы относятся к технике контроля качества материалов, изделий, оборудования и т.п., более конкретно, к технике обнаружения дефектов сварных швов ультразвуковыми объемными волнами с использованием емкостного метода возбуждения ультразвуковых импульсов.

Ключевые слова: ультразвуковой контроль, бесконтактный преобразователь, емкостной преобразователь, электрическое поле, импульсы, измерения, диагностика, объемные волны.

K. L. NOZDRACHOVA**CAPACITIVE METHODS OF EXCITATION OF PULSES OF ULTRASONIC WAVES
IN ELECTRICALLY CONDUCTING PRODUCTS UNDER ANGLE TO THE SURFACE**

Methods of exciting ultrasonic volume waves at an angle to the surface of an electrically conductive product and their practical implementation are considered. They are realized due to the fact that, based on the known method of non-contact capacitive excitation of pulses of ultrasonic volume waves in the surface layer of a metal product, a pulsed high-frequency electric field of a given frequency is formed and a constant polarizing electric field acts on the same surface layer of the product. Constant polarizing and high-frequency electric fields are formed in the surface layer of the product by a group of parallel electrodes located at the same distance from each other and at the same distance from the surface of the product. In this case, a constant polarizing electric field of opposite polarity is supplied to each neighboring electrode, and a high-frequency electric field is supplied to all electrodes with the same phase. By folding the amplitudes of surface ultrasonic pulses excited in local sections of the surface of the metal product with the same phase, the efficiency of exciting high-frequency ultrasonic pulses at a given angle to the surface of the product increases. The developed methods relate to the quality control technique for materials, products, equipment, etc., more specifically, to the technique for detecting defects in welds by ultrasonic volume waves using the capacitive method of excitation of ultrasonic pulses.

Key words: ultrasonic testing, non-contact transducer, capacitive transducer, electric field, pulses, measurements, diagnostics, volume waves.

Вступ. Неруйнівний контроль (НК) є найважливішим елементом системи експертизи промислової безпеки, що забезпечує технічну безпеку на небезпечному виробничому об'єкті. За останні роки НК, виконує важливу функцію у зазначеній системі, розвивається прискореними темпами в усіх своїх складових, включаючи розвиток нових методів і методик, створення більш досконалої техніки, що базується на досягненнях електроніки та обчислювальних пристроїв, підвищення вимог до персоналу в галузі НК. Розвиток ПК знайшов своє

відображення і в появі нових термінів, які використовуються в практиці, наукових працях і технічних описах. НК у все більшій мірі контактує із суміжними напрямками, які беруть участь в оцінці реального технічного стану об'єктів, визначенні можливості їх подальшої експлуатації і термінів безпечної роботи (проблема ресурсу). До таких напрямків відносяться металознавство, механіка руйнування (розрахунки міцності), теорія надійності та інші розділи науки і техніки. Все це сприяє появі в

© К. Л. Ноздрачова, 2019

області НК нових розробок, методів і відповідно нових понять [1, 2].

Постановка проблеми. Незважаючи на все зростаючий обсяг використання акустичних методів дефектоскопії для контролю електропровідних виробів, проблемам безконтактності цих методів, дослідженням підвищення їх достовірності, інформативності і т.п. присвячено відносно невелика кількість робіт. Тому, з огляду на згадані переваги, загальну тенденцію розвитку методів і засобів неруйнівного контролю, а також недостатню освітленість безконтактних ультразвукових методів, що не дозволяє реалізувати всі їхні переваги, є досить актуальним створення методу і програмно-апаратних засобів безконтактного акустичного неруйнівного контролю, що забезпечує високу продуктивність контролю, інформативність і достовірність результатів.

Мета роботи. Розробити і удосконалити нові типи ємнісних перетворювачів для контролю металовиробів акустичними методами неруйнівного контролю, що забезпечували б збудження імпульсів ультразвукових хвиль під кутом до поверхні об'єкту контролю.

Основна частина. Серед безконтактних акустичних методів НК слід виділити ємнісний, як найменш досліджений, але не менш перспективний і простий в реалізації [3, 4]. Принцип роботи якого полягає у формуванні в поверхневому шарі електропровідного металовиробу імпульсного високочастотного електричного поля заданої частоти і дію на той же поверхневий шар виробу постійним поляризованим електричним полем.

Суттєвим недоліком даного способу є те, що він не дозволяє збуджувати імпульси ультразвукових

хвиль під кутом до поверхні виробу, що контролюється.

Найбільш близьким за технічною суттю і за результатом до даного метода, є спосіб [5] який, за допомогою круглого електрода ємнісного ультразвукового перетворювача (ЄП), формує в поверхневому шарі електропровідного металовиробу імпульси високочастотного електричного поля заданої частоти і дію на той же поверхневий шар виробу постійним поляризованим електричним полем.

Суттєвим недоліком даного способу є також те, що при використанні круглого електрода в основному збуджуються поздовжні хвилі нормально поверхні, які не дозволяють контролювати якість металовиробів за наявності зварного ґрату. Тому, проблема забезпечення збудження імпульсів ультразвукових хвиль під кутом до поверхні об'єкту контролю (ОК) являється актуальною.

Для спрощення опису принципу роботи ємнісного перетворювача його можна представити у вигляді точкових джерел електричного поля. На рис 1 наведена пояснювальна схема принципу безконтактного випромінювання ультразвукових коливань (УЗК) в матеріал електропровідного виробу 1 від точкових джерел електричного поля 2, що знаходяться на відстані h від поверхні виробу і відстані a один від одного і їх «механічна» проекція 3 в поверхневому шарі матеріалу виробу, яка утворюється в результаті перетворення електричних сил в механічні. Стрілками вказані напрямки поширення УЗК, яке відбувається в різні сторони від джерел механічних напруг, має місце навіть деяка інтерференція хвиль. Тобто ті хвилі, що мають однакову частоту і фазу, за рахунок інтерференції, будуть складуватись в деякій точці виробу.

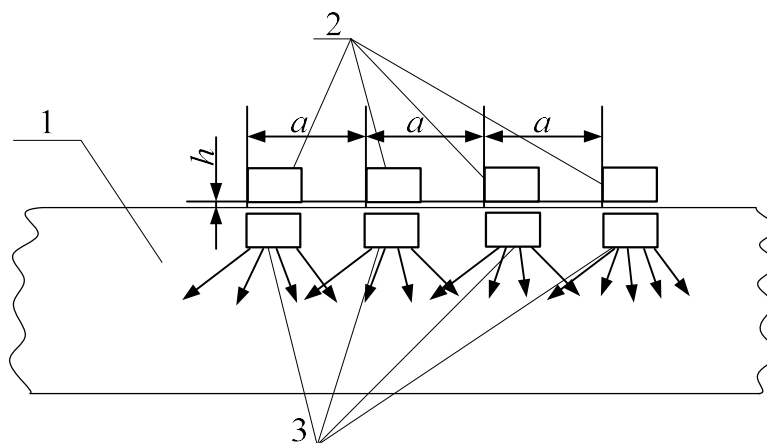


Рис.1 – Випромінювання УЗК у поверхневому шарі від точкових джерел сформованих електричним полем

На рис. 2 детально представлена схема принципу складання хвиль, що надійшли до точки 4 з однаковою фазою і частотою під заданим кутом β до виробу, за умовою, що відстань між точковими проекціями «механічних» джерел дорівнюватиме, або буде

кратною довжині хвилі λ . Отже, міняючи такі параметри як частота та відстань між джерелами електричного поля можна керувати кутом β випромінювання хвиль у виріб.

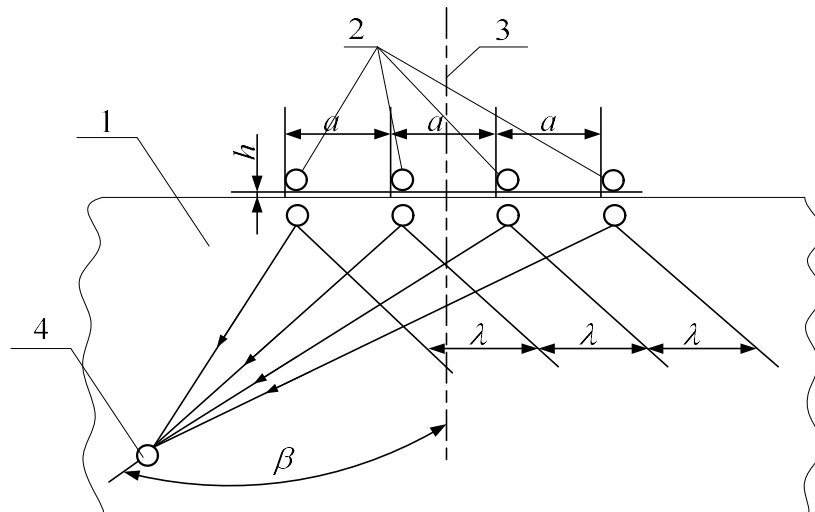


Рис.2 – Схема складання УЗК хвиль з однаковими фазами

З пояснень рис. 1 і 2, користуючись ефектом складання ультразвукових хвиль за фазою, розроблено спосіб збудження об'ємних ультразвукових хвиль під кутом до поверхні електропровідного ОК. Схема реалізації нового способу полягає в тому, що постійне поляризуюче і височастотне електричні поля формуються у поверхневому шарі виробу групою паралельних електродів (рис.1) розташованих на однаковій відстані від поверхні виробу з однаковою відстанню a , величина якої визначається згідно з виразом

$$a = C / f \sin \beta, \quad (1)$$

де C – швидкість поширення ультразвукових об'ємних хвиль в матеріалі виробу, що контролюється, мм/мкс;

f – частота ультразвукових об'ємних коливань, які збуджуються у виробі, МГц;

β – кут між напрямком збуджуваних променів ультразвукових об'ємних хвиль і нормалю до

поверхні виробу, який встановлюється нормативно-технічною документацією на контроль, град.

Спосіб реалізується наступним чином, рис.3. За допомогою електродів 1, розташованих на невеликій відстані h від поверхні ОК 5 та на відстані a один від одного, в ділянках 2 поверхні ОК 5 постійним електричним та імпульсним електричним полями збуджуються ультразвукові імпульси. При виконанні умов формули (1) під кутом β відносно нормалі 4 в об'єм ОК 5 поширюються пружні ультразвукові імпульси 3. При цьому, кут β можливо змінювати за рахунок регулювання частоти f імпульсного електромагнітного поля електронним шляхом.

Таким чином збудження ультразвукових імпульсів об'ємних хвиль під кутом до поверхні електропровідних виробів забезпечується за рахунок складання з однаковою фазою амплітуд ультразвукових імпульсів в заданому напрямку.

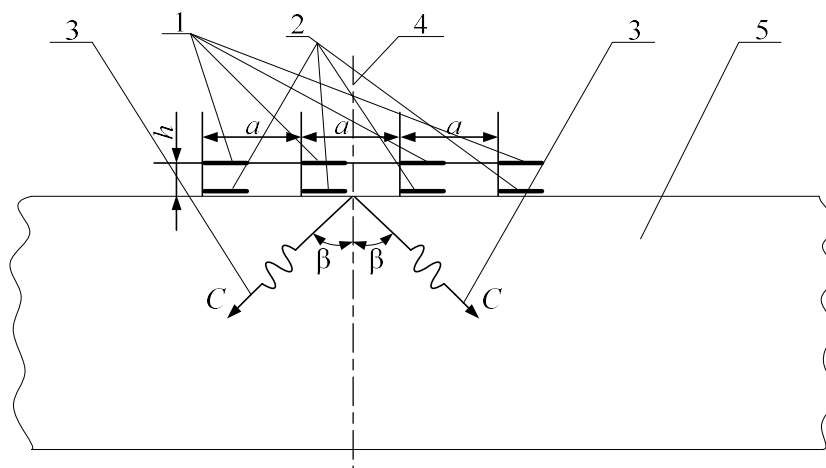


Рис. 3– Схему принципу реалізації нового способу

На кресленні, рис. 4, наведено схему розміщення електродів над поверхнею ОК. Стрілками позначено

напрямки поширення ультразвукових об'ємних хвиль від електродів збудження в глибину ОК 5.

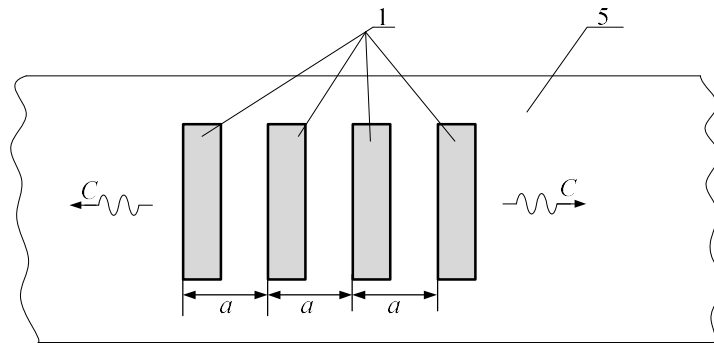


Рис. 4 – Схема розміщення електродів над поверхнею металовиробу

Для підвищення ефективності збудження височастотних ультразвукових імпульсів об'ємних хвиль запропоновано другий спосіб реалізації методу, вдосконалення якого забезпечується за рахунок оптимізації відстані між електродами ємнісного перетворювача, що зменшує взаємну компенсацію інтенсивності збуджуваних хвиль.

Спосіб реалізується наступним чином рис.5. На електроди 2 подається постійна поляризуюча електрична напруга з полярністю, що чередується відносно сусідніх електродів (+) або (-). На електроди 2 також подаються імпульси височастотної електричної напруги з однаковою фазою, як вказано в попередньому способі. В поверхневому шарі ОК 1 під електродами 2 формується періодичне ультразвукове поле з різними фазовими складовими, які формуються

за рахунок вибору відстані a між електродами згідно з виразом (1), де кут β встановлюється нормативно-технічною документацією на контроль (град.), та різною полярністю поляризуючої напруги на сусідніх електродах 2. Сумарне ультразвукове поле від усіх електродів 2 буде направлено в об'єм ОК 1 під кутом β відносно нормалі 3 до поверхні ОК 1. В результаті в ОК 1 буде виявлено внутрішній дефект Д. h – відстань між електродами 2 і поверхнею ОК 1

Окрім того, ультразвукове поле випромінюється в двох протилежних напрямках, що підвищує продуктивність контролю об'єму ОК 1.

Таким чином ефективність збудження височастотних ультразвукових імпульсів об'ємних хвиль в об'ємі виробу під заданим кутом підвищується.

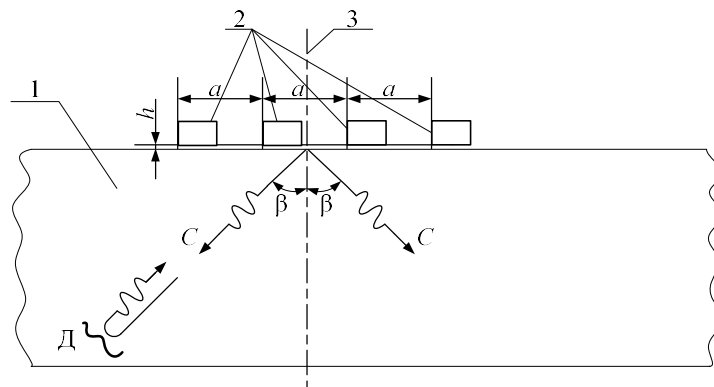


Рис.5 – Спрощена схему для пояснення принципу реалізації запропонованого способу

На рис. 6, наведено схему розміщення електродів над поверхнею ОК згідно з рис.5.

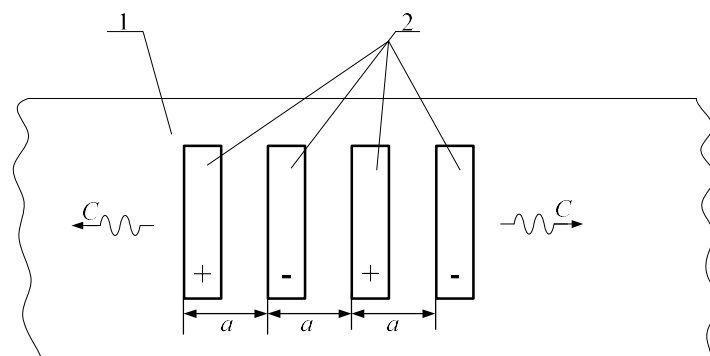


Рис. 6 – Схема розміщення електродів

Висновки.

1. На основі відомого безконтактного ємнісного ультразвукового методу запропоновано способи збудження ультразвукових об'ємних хвиль під кутом до поверхні електропровідного виробу, детально описані схеми і принципи їх реалізації.

2. Визначено, що ефективність безконтактного збудження ультразвукових імпульсів в електропровідному виробі під кутом до поверхні забезпечується за рахунок складання з однаковою фазою амплітуд ультразвукових імпульсів в заданому напрямку.

Список літератури

1. Кочергин Д.А., Линдт Е.В. Преимущества и недостатки ультразвукового контроля. // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – Красноярск : СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2016. – Том 1. №12 – С. 430–432.
2. Можливість ультразвукового контролю зварних з'єднань без видалення фарбового покриття / Сучков Г.М., Єрошенков В.М., Міщанчук Е.В., Ноздрачова К.Л., Титова Н.В. // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – Вип. 19. – С. 199–203.
3. Безконтактний ємнісний спосіб збудження і прийому пружних хвиль / Сучков Г.М., Ноздрачова К.Л. // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013. – № 2(31). – С. 3–6
4. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – М.: Машиностроение, 2006. – 864 с.
5. Ноздрачева Е.Л., Сучков Г.М., Петрищев О.Н. Особенности возбуждения ультразвуковых импульсов емкостным

преобразователем // Научные работы Донецкого национального технического университета, серия: «Обчислювальна техніка та автоматизація». – 2015. – С.165–171.

References (transliterated)

1. Kocherhyn D.A., Lyndt E.V. Preymushchestva y nedostatky ul'trazvukovoho kontrolya. [Advantages and disadvantages of ultrasound control] // *Aktual'nye problemy avyatsyy y kosmonavtyky*. – Krasnoyarsk : SybHU im. M.F. Reshetneva, 2016. – Vol 1. – No 12 – P. 430–432.
2. Mozhlyvist' ul'trazvukovoho kontrolyu zvarnykh z'yednan' bez vydalennya farbovoho pokryttya [Possibility of ultrasonic control of welded joints without removal of paint coating] / Suchkov H.M., Yeroshchenkov V.M., Mishchanchuk E.V., Nozdrachova K.L., Tytova N.V. // *Visnyk NTU "KHPI"*. – Kharkiv : NTU "KHPI", 2011. – Vyp. 19. – P. 199–203.
3. Bezkontaktnyy yemnisnyy sposib zbudzhennya i pryomu pruzhnykh khvyly' [Non-contact capacitive method of excitation and reception of elastic waves] / Suchkov H.M., Nozdrachova K.L. // *Metody ta prylady kontrolyu yakosti*. – Ivano-Frankivs'k: IFNTUNH, 2013. – No 2(31). – P. 3–6
4. Nerazrushayushchy kontrol'. [Non-destructive testing]: Spravochnik: V 7 t. Pod obshch. red. V.V. Klyueva. Vol. 3: Ul'trazvukovoy kontrol' / Y.N. Ermolov, YU.V. Lanhe. – Moscow.: Mashynostroenye, 2006. – 864 p.
5. Nozdracheva E.L., Suchkov H.M., Petryshchev O.N. Osobennosti vzbuzhdenyya ul'trazvukovykh ymпульсов емкостным преобразователем [Features excitation of ultrasonic pulses capacitive transducer.] // *Naukovi pratsi Donets'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu, seriya: «Obchyslyval'na tekhnika ta avtomatyzatsiya»*. – 2015. – P. 165–171.

Надійшла (received) 06.06.19

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ноздрачова Катерина Леонідівна (Ноздрачева Екатерина Леонидовна, Nozdrachova Katerina Leonidivna) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю та діагностики, НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна, ORCID ID: 0000-0002-1996-2301, e-mail: nozdrachova@gmail.com;